

## Process for the catalytic conversion of fuel with water and oxygen

Publication number: DE19951585 (A1)

Publication date: 2001-05-17

Inventor(s): DOCTER ANDREAS [DE]; LOSCHKO BIRGIT [DE]; WIESHEU NORBERT [DE]

Applicant(s): DAIMLER CHRYSLER AG [DE]

Classifications:

- International: B01J8/00; B01J8/02; B01J19/26; C01B3/38; B01J8/00; B01J8/02; B01J19/26; C01B3/00; (IPC1-7: C01B3/32;

- B01J8/00; B01J8/02; C01B3/36; C01B3/38; H01M8/06

- European: B01J8/00L2; B01J8/02F; B01J19/26; C01B3/38A

Application number: DE19991051585 19991027

Priority number(s): DE19991051585 19991027

Also published as:

DE19951585 (C2)

EP10955904 (A2)

EP10955904 (A3)

EP10955904 (B1)

Cited documents:

DE2826025 (C2)

DE908513 (C)

DE1086216 (B)

DE4300528 (A1)

DE3804453 (A1)

[more >>](#)

Abstract not available for DE 19951585 (A1)

Abstract of corresponding document: EP 10955904 (A2)

A reactor for the catalytic combustion of hydrocarbon (derivatives) with water and oxygen comprises a catalyst-coated reaction part (1) and an educt feed device for feeding an educt mixture comprising a combustible component, first, second, water as the second educt and an oxygen-containing gas as the third educt. The educt feed device comprises: (i) an outlet on the entrance side of a catalyst-coated treatment section (2); (ii) an injection nozzle, in which the combustible comprises liquid droplets and is injected into the educt mixture treatment section; (iii) a gas feed device, in which the oxygen containing gas is fed into the educt mixture; and (iv) a water feed device in which the water is added in spray or vapor form.

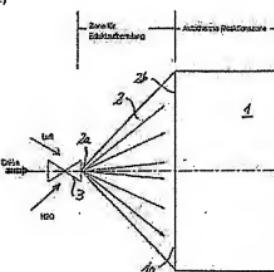


Fig. 1

Data supplied from the esp@cenet database — Worldwide



⑩ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑬ DE 199 51 585 A 1

④ Int. Cl.?  
**C 01 B 3/32**

C 01 B 3/36  
C 01 B 3/38  
B 01 J 8/00  
B 01 J 8/02  
H 01 M 8/06

DE 199 51 585 A 1

⑭ Aktenzeichen: 199 51 585.9  
⑮ Anmeldetag: 27. 10. 1999  
⑯ Offenlegungstag: 17. 5. 2001

⑰ Anmelder:  
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

⑰ Erfinder:  
Docter, Andreas, Dr.-Ing., 88471 Laupheim, DE;  
Loschko, Birgit, Dipl.-Ing., 73730 Esslingen, DE;  
Wiesheu, Norbert, Dipl.-Ing., 89312 Günzburg, DE

⑯ Entgegenhaltungen:

DE	28 26 025 C2
DE-PS	9 08 513
DE-AS	10 88 216
DE	439 06 284 A1
DE	38 04 453 A1
DE	30 47 734 A1
DE	29 02 845 A1
DE	26 57 385 A1
US	55 49 877 A
US	40 24 912
US	26 55 442

JP 56-100102 A, In Patent Abstracts of Japan  
Vol.5 (1981) No.178 (C-78);

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑭ Reaktoranlage zur katalytischen Brennstoffumsetzung mit Wasser und Sauerstoff

⑮ Die Erfindung bezieht sich auf eine Reaktoranlage zur katalytischen Umsetzung eines Kohlenwasserstoff- oder Kohlenwasserstoffderivat-Brennstoffs mit Wasser und Sauerstoff, wobei die Reaktoranlage einen katalysatorbeladenen Reaktionsraum und Eduktzuführmittel zur Zuführung eines Gemisches aus den drei Edukten in den Reaktionsraum umfasst.

Erfindungsgemäß beinhaltet die Eduktzuführmittel einen dem Reaktionsraum vorgeschalteten Eduktgemischabreitungsraum, Brennstoffeinspritzmittel zur Eindüsung des Brennstoffs in den Gemischabreitungsraum sowie Gaszuführmittel zum Einspeisen eines sauerstoffhaltigen Gases unter Verwirbelung der Brennstofftröpfchen und Wasserzuführmittel zur Einspeisung von Wasser in zerstäubter oder verdampfter Form.

Verwendung z. B. zur Wasserstofferzeugung aus Benzin oder Methanol in Brennstoffzellenfahrzeugen.

DE 199 51 585 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Reaktoranlage zur katalytischen Umsetzung eines Kohlenwasserstoff- oder Kohlenwasserstoffderivat-Brennstoffs mit Wasser und Sauerstoff nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

In derartigen Reaktoranlagen werden als Edukte der Brennstoff, das Wasser und ein sauerstoffhaltiges Gas, z. B. Luft, durch entsprechende Eduktzuführmittel einem Reaktionsraum zugeführt, der mit einem geeigneten Katalysatormaterial belegt ist. Unter der Wirkung des Katalysatormaterials wird der eingesetzte Brennstoff mit dem Wasser und dem Sauerstoff umgesetzt. Die Umsetzungreaktion beinhaltet im allgemeinen einerseits eine endotherme Reformierungsreaktion des Brennstoffs mit dem Wasser und andererseits eine exotherme Oxidationsreaktion des Brennstoffs mit dem Sauerstoff. Durch entsprechende Prozeßführung kann die Umsetzungreaktion autotherm eingestellt werden, d. h. die exotherme Reaktion des Brennstoff 5 mit dem Sauerstoff liefert gerade die für die endotherme Reformierung des Brennstoff mit Wasser erforderliche Wärme, so daß weder eine Kühlung, noch eine Beheizung des Reaktionsraums nötig ist. Ziel dieser Art von Umsetzungreaktionen ist die Gewinnung eines wasserstoffreichen Gases aus dem Brennstoff, z. B. Benzin oder Methanol, um den dadurch erzeugten Wasserstoff z. B. zur Speisung von Brennstoffzellen eines Brennstoffzellenfahrzeugs oder eines stationären Brennstoffzellsystems zu verwenden.

Für die Katalysatorbelegung des Reaktionsraums gibt es verschiedene Möglichkeiten. So kann das Katalysatormaterial als Pelletschüttung oder als Wandbeschichtung vorliegen. Eine weitere Möglichkeit ist das Anbringen des Katalysatormaterials auf einem Katalysatorträger hoher Oberfläche. Zu diesem Zweck kommen als Katalysatorträger verschiedene Strukturen in Betracht, wie Monolithstrukturen aus Metall oder Keramik, Keramikblätter, Drahtgitterscheiben oder Kreuzkanalstrukturen, die als statische Mischern wirken. Für eine effektive Umsetzung des Brennstoffs ist eine möglichst homogene Verteilung der drei Edukte im katalysatorbelegten Reaktionsraum anzustreben. Im Reaktionsraum selbst ist eine homogene Eduktgemischabbereitung oftmals kaum mehr erreichbar, insbesondere bei monolithischen Katalysatorträgerstrukturen, bei denen im Katalysatorbereich kein Produktgas austausch möglich ist. Je nach Art des Katalysatorträgers wird daher vielfach vorgesehen, die Edukte vor Eintritt in den Reaktionsraum vorverdampfen, insbesondere das Wasser und den üblicherweise ebenfalls flüssigen Brennstoff, vorzumischen und als entsprechendes Gas-/Dampfgemisch in den Reaktionsraum einzuleiten.

Der Erfindung liegt als technisches Problem die Bereitstellung einer Reaktoranlage der eingeangs genannten Art zugrunde, die mit relativ geringem Aufwand sichergestellt ist, daß die drei Edukte in ausreichend gut vermischter Form in den katalysatorbelegten Reaktionsraum gelangen.

Die Erfindung löst dieses Problem durch die Bereitstellung einer Reaktoranlage mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Diese Reaktoranlage beinhaltet als Teil der Eduktzuführmittel einen Eduktgemischabbereitungsraum, der mit seiner Austrittsstelle an die Eintrittsstelle des katalysatorbeladenen Reaktionsraums angrenzt. Die Eduktzuführmittel beinhalten des weiteren Brennstoffeinspritzmittel, mit denen der Brennstoff in flüssiger Form in den Eduktgemischabbereitungsraum unter Tröpfchenbildung eingespritzt wird, sowie Gaszuführmittel, die so ausgelegt sind, daß sie das sauerstoffhaltige Gas unter Verarbeitung der Brennstofftröpfchen in den Eduktgemischabbereitungsraum einspeisen, und Wasserzuführmittel, die so ausgelegt

sind, daß mit ihnen das Wasser in zerstäubter oder verdampfter Form in den Eduktgemischabbereitungsraum gelangt. Die so realisierten Eduktzuführmittel gewährleisten eine ausreichend gute Durchmischung der drei Edukte, d. h. ein ausreichend homogenes Eduktgemisch, schon in dem Eduktgemischabbereitungsraum, der dem Reaktionsraum vorgeschaftet ist, so daß das Eduktgemisch mit guter, ausreichender Homogenität der Durchmischung der drei Edukte in den Reaktionsraum gelangt.

Selbst bei Verwendung von hinsichtlich der Gemischabberichtigkeit kritischen Katalysatorträgerstrukturen läßt sich somit durch die speziellen Eduktzuführmittel in der erfundsgemäßen Reaktoranlage der eingesetzte Brennstoff in ausreichend gut mit dem Wasser und dem sauerstoffhaltigen Gas vermischt Form in den Reaktionsraum einbringen und dort z. B. autotherm in ein wasserstoffreiches Gas umsetzen. Die erfundsgemäße Reaktoranlage läßt sich dabei ohne weiteres so auslegen, daß sie auch die speziellen Bedingungen für einen mobilen Einsatz, z. B. in Brennstoffzellenfahrzeugen, erfüllt, wie ausreichende Dynamik und Temperaturbeständigkeit, ausreichendes Lastwechselvermögen, komplette Verdampfung des Brennstoffs und eine von der Einbaulage unabhängige Betriebsfähigkeit, wobei letzteres besondere beim Einbau in Kraftfahrzeugen von Bedeutung ist.

In einer Weiterbildung der Erfindung nach Anspruch 2 beinhalten die Gaszuführmittel speziell Drallströmungszeugungsmittel. Die von diesen bewirkte Drallströmung des eingespielten sauerstoffhaltigen Gases fördert eine gute Verwirbelung der eingespritzten Brennstofftröpfchen im Eduktgemischabbereitungsraum.

In einer Weiterbildung der Erfindung nach Anspruch 3 beinhalten die Gaszuführmittel speziell Vorwärmungsmit tel, um das sauerstoffhaltige Gas durch Verdichtung und/oder Systemwärmefickkopplung vor oder spätestens im Eduktgemischabbereitungsraum und damit vor Eintritt in den Reaktionsraum zu erwärmen. Unter Systemwärmefickkopplung ist dabei die Nutzung von Wärme zur Aufbeziehung des sauerstoffhaltigen Gases zu verstehen, die aus dem System selbst gewonnen wird, z. B. unter Abkühlung des aus dem Reaktionsraum austretenden Produktgases oder einer den Reaktionsraum nachgeschalteten Systemkomponente, wie einer nachgeschalteten Gasreinigungsstufe zur exothermen Umsetzung und damit Beseitigung von im Produktgas enthaltenem Koblennoxid.

In einer Weiterbildung der Erfindung nach Anspruch 4 sind die Wasserzuführmittel so ausgelegt, daß sie das zerstäubte oder verdampfte Wasser dem sauerstoffhaltigen Gasstrom zudosieren, bevor es mit diesem zusammen in den Eduktgemischabbereitungsraum eingespeist wird, so daß ein gemeinsamer Zufahrtrakt zum Einbringen des Wassers und des sauerstoffhaltigen Gasstroms in den Eduktgemischabbereitungsraum genügt.

In einer Weiterbildung der Erfindung nach Anspruch 5 können die Wasserzuführmittel in Abhängigkeit davon unterschiedlich betrieben werden, ob sich die Reaktoranlage in einer Kalistarphase oder im betriebswarmen Zustand befindet. In erstem Fall dosieren sie das Wasser in zerstäubter Form zu, während sie in letzterem Fall das Wasser in verdampfter Form zudosieren. Die zum Verdampfen des flüssig hergestellten Wassers erforderliche Wärme wird hierbei wiederum durch Systemwärmefickkopplung geliefert.

In einer Weiterbildung der Erfindung nach Anspruch 6 umfaßt der Eduktgemischabbereitungsraum einen Hauptraum und eine vorgeschaltete Vormischkammer. Die drei Edukte werden in die Vormischkammer eingebracht und dort vorgemischt. Von der Vormischkammer gelangen sie dann in den Hauptraum, z. B. unter Drallerzeugung. Durch

entsprechende Auslegung von Vormischkammer und Hauptraum läßt sich eine sehr intensive Eduktvermischung erreichen, z. B. aufgrund des durch das Vorschalten der Vormischkammer verlängerten Gemischströmungsweges und/oder durch eine Erhöhung der Gemischströmungsgeschwindigkeit, wie sie durch geeignete Gestaltung der Auströmlageometrie der Vormischkammer, insbesondere einer Querschnittsverjüngung derselben, erzielbar ist.

In einer Weiterbildung der Erfundung nach Anspruch 7 beinhalten die Eduktzuführmittel eine einzelne, vorzugsweise an einer zentralen Stelle der Eintrittsstelle des Eduktgemischaufbereitungsräums angeordnete Mehrstoffdüse, über die alle drei Edukte in den Eduktgemischaufbereitungsräum eingespeist werden. Je nach Auslegung der Mehrstoffdüse als Zweistoff- oder Dreistoff-Düse werden die drei Edukte dieser Düse getrennt zugeführt, oder es werden zwei Edukte in vorgemischter Form über einen ersten Eintrittskanal und das dritte Edukt über einen zweiten Eintrittskanal der Mehrstoffdüse zugeführt.

In einer Weiterbildung der Erfundung nach Anspruch 8 beinhalten die Eduktzuführmittel mehrere Zufuhrdüsen, die an der Eintrittsstelle des Eduktgasauflaufbereitungsräums verteilt angeordnet sind und von denen jede eines oder mehrerer der drei Edukte in dem Eduktgasauflaufbereitungsräum zudosiert. Insbesondere kann eine flächig verteilte Anordnung einer Vielzahl von Einstoff-Zufuhrdüsen vorgesehen sein, über die jeweils nur eines der drei Edukte in den Eduktgasauflaufbereitungsräum eingespeist wird. Vorzugsweise sind dabei für jedes der drei Edukte mehrere Zufuhrdüsen vorgesehen, die ihrerseits möglichst gleichmäßig verteilt an der Eintrittsstelle des Eduktgasauflaufbereitungsräums angeordnet sind, so daß insgesamt die Zufuhrdüsen für die verschiedenen Edukte möglichst homogen über die Eintrittsstelle des Eduktgasauflaufbereitungsräums hinweg verteilt sind. Dadurch wird gewährleistet, daß sich die einzelnen in den Eduktgasauflaufbereitungsräum eingeholten Edukte dort schon in der Nähe der Eintrittsstelle und jedenfalls mit zum Erreichen von dessen Austrittsstelle sehr homogen durchmischen.

Vorteilhaft Ausführungsformen der Erfundung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden nachfolgend beschrieben. Hierbei zeigen:

Fig. 1 eine schematische Prinzipskizze einer Reaktoranlage mit zentraler Eduktzuführung in einen Eduktgemischaufbereitungsräum,

Fig. 2 eine Längsansicht einer gemäß der Prinzipskizze von Fig. 1 realisierten Reaktoranlage,

Fig. 3 eine Draufsicht auf den Eduktgemischaufbereitungsräum von Fig. 2 mit mittlerverseiteter Gasströmungsführung zur Drallherzeugung,

Fig. 4 eine Schnittansicht längs der Linie IV-IV von Fig. 3,

Fig. 5 eine Prinzipskizze entsprechend Fig. 1, jedoch für eine Reaktoranlage mit Vormischkammer und

Fig. 6 eine Prinzipskizze einer Reaktoranlage mit flächiger Düsenanordnung an der Eintrittsstelle eines Eduktgemischaufbereitungsräums.

Fig. 1 zeigt schematisch einen hier interessierenden Teil einer Reaktoranlage zur autothermen Umsetzung eines Kohlenwasserstoff-Brennstoffs (in der üblichen allgemeinen Notation CnHm angegeben), z. B. Benzin, mit Wasser und Sauerstoff zwecks Gewinnung eines wasserstofffreien Produktgases, das im allgemeinen zusätzlich Kohlenmonoxid und gegebenenfalls weitere Nebenprodukte enthält. Die Umsetzungsreaktion erfolgt in einer durch einen Reaktionsraum 1 definierten, vorzugsweise autothermen Reaktionszone und umfaßt üblicherweise zum einen eine endotherme Wasserdampfreformierung und zum anderen eine exotherme partielle Oxidation des Brennstoffs. Durch ent-

sprechende Prozeßführung, insbesondere hinsichtlich Temperatur und Druck im Reaktionsraum 1 und der zugeführten Menge des jeweiligen Eduktes, speziell des Mengenverhältnisses von Wasser und Sauerstoff, läßt sich die Umsetzungsreaktion autotherm einstellen, was den Vorteil hat, daß der Reaktionsraum 1 weder gekühlt, noch beheizt werden muß. In den Reaktionsraum 1 ist in herkömmlicher Weise ein zur Katalysierung der Umsetzungsreaktion geeignetes Katalysatormaterial eingebracht, z. B. in Form eines mit dem Katalysatormaterial verschenen Katalysatorträgers. Mögliche Katalysatorträgerstrukturen sind monolithische Strukturen aus Metall oder Keramik, Keramikschaume, Drahtgitterscheiben, als statische Mischer wirkende Kreuzkanalstrukturen und dergleichen. Zur homogenen Vermischung der in den Reaktionsraum 1 einzubringenden Edukte, d. h. des eingesetzten Brennstoffs CnHm, des Wassers ( $H_2O$ ) und des Sauerstoffs, sind Eduktzuführmittel vorgesehen, die eine direkt an die Eintrittsstelle 1 des Reaktionsraums 1 angrenzende Eduktaufbereitungszone heinhalten, die durch einen entsprechenden Eduktgemischaufbereitungsräum 2 realisiert ist. An der Eintrittsstelle 2a des Eduktgemischaufbereitungsräums 2, der mit seiner Austrittsstelle 2b in die Eintrittsstelle 1 des Reaktionsraums 1 übergeht, sind geeignete Eduktzuführmittel angeordnet, die den Brennstoff CnHm, das Wasser und den Sauerstoff, letzteren z. B. in Form von Luft, mit guter Durchmischung in den Gemischaufbereitungsräum 2 einbringen, wobei zur Durchmischung der drei Edukte auch die Geometrie des Gemischaufbereitungsräums 2 beitragen kann. Im Beispiel von Fig. 1 erfolgt die Zudosierung der drei Edukte in den Eduktgemischaufbereitungsräum 2 durch eine einzige zentrale Mehrstoffdüse 3.

Dabei erfolgt die Zudosierung des Brennstoffs unabhängig von den Betriebsbedingungen der Reaktoranlage stets in flüssiger Form, und zwar derart, daß er eine hohe spezifische Oberfläche erhält. Dazu kann die Zufuhrdüse 3 beispielsweise ein elektromagnetisch betätigtes Einspritzventil beinhalten, wie es typischerweise in Verbrennungsmotoren eingesetzt wird. Dieses Einspritzventil der Zufuhrdüse 3 kann, wie ebenfalls von herkömmlichen Verbrennungsmotoren-Einspritzanlagen bekannt, entweder über ein Niederdrucksystem mit typischen Drücken bis zu etwa 5 bar oder über ein Hochdrucksystem mit typischen Drücken zwischen etwa 20 bar und etwa 120 bar versorgt werden. Je höher das Druckgefälle über dem Einspritzventil ist, um so feiner läßt sich der Brennstoff zerstäuben und um so größer ist folglich seine spezifische Oberfläche in der zerstäubten, im Gemischaufbereitungsräum 2 vorliegenden Form.

Die Luftzudosierung erfolgt so, daß die durch das Einspritzen des Brennstoffs gebildeten Brennstofftröpfchen maximal verwirbelt werden, um eine möglichst gute Vermischung der Verbrennungsluft mit dem Brennstoff zu erreichen. Dies kann insbesondere durch eine Luftströmungsführung erreicht werden, die einen möglichst großen Drall erzeugt. Des Weiteren ist eine Luftvorwärmung günstig, die sich durch Verdichtung der angesaugten Luft und/oder durch Systemwärmefüllung erzielen läßt. Typischerweise wird die Luft hierbei auf ca. 200°C erwärmt. Die Luftverdichtung findet primär dazu, die Luft über die Zufuhrdüse 3 strahlförmig in den Gemischaufbereitungsräum 2 einzubringen und insgesamt das dort aufbereitete Eduktgemisch mit ausreichendem Überdruck den Reaktionsraum 1 einzuspeisen. Die erwähnte Systemwärmefüllung besteht darin, dem aus dem Reaktionsraum 1 austretenden Produktgas oder einer dem Reaktionsraum 1 nachgeschalteten Systemkomponente, wie einer Gaseinigungsstufe, überschüssige Wärme zu entziehen und diese zu den Eduktzuführmittel zurückzuführen und dort zu nutzen, z. B. für die erwähnte Luftvorwärmung.

Die Wasserzudosierung zum Gemischaufbereitungsräum 2 erfolgt vorzugsweise in Abhängigkeit davon, ob sich die Reaktorlage in einer Kalistarphase oder im betriebswarmen Zustand befindet. Während der Kalistarphase erfolgt die Wasserzudosierung dadurch, daß flüssiges Wasser fein zerstäubt in den Luftstrom injiziert wird. Die Wasserzerstäubung kann mittels einer herkömmlichen, zu diesem Zweck gebräuchlichen Düse erfolgen, wie einer Vernebelungsdüse oder einem Einspritzventil, der zur Zufuhrdüse 3 vorgelagert ist und das zerstäubte Wasser dem Luftstrom von Eintritt in die Zufuhrdüse 3 beimischt. Diese Beimischung kann auch in einer Zweistoffdüse erfolgen, welcher einerseits der Luftstrom und andererseits das flüssige Wasser zugeführt wird. Als weitere Alternative kommt die Zerstäubung des flüssigen Wassers erst durch die Zufuhrdüse 3 selbst in Betracht, wozu diese dann geeignigt ausgelegt ist. Dabei kann das flüssige Wasser bei Bedarf auch dem flüssigen Brennstoff vor Eintritt in die Zufuhrdüse 3 beigemengt und zusammen mit diesem zerstäubt werden.

Im betriebswarmen Zustand der Reaktorlage steht durch die erwähnte Systemwärmerückkopplung ausreichend Wärme zur Verfügung, so daß auf Wunsch statt der während der Kalistarphase durchgeführten Zerstäubung eine Verdampfung des flüssig zugeführten Wassers mit rückgekoppelter Systemwärme möglich ist, ohne daß hier für eine externe Wärmezufuhr zwingend erforderlich ist. Das verdampfte Wasser kann dann separat oder mit dem Luftstrom vorgenmischt in den Gemischaufbereitungsräum 2 eingespeist werden. Der Wasserlampf gelangt dann mit einer Temperatur von z. B. 300°C in den Reaktionsraum 1.

In den Fig. 2 bis 4 ist eine praktische Umsetzung für den in Fig. 1 nur skizzenhaft veranschaulichten Anlagenentwurf gezeigt. Wie daraus ersichtlich, befindet sich der katalysatorbelegte Reaktionsraum 1 in einem zylindrischen Gehäuse 4, an dessen eintrittsseite Stirnseite ein grob halbkugelförmiger Gehäuseteil 6 angeflanscht ist, dessen Innenfläche 6a eine spezielle, vorgegebene geometrische Formung aufweist, welche die Vernebelungswirkung der vorgeschalteten Zufuhrdüse unterstützt. Die Zufuhrdüse 3 beinhaltet zu einem ein herkömmliches Einspritzventil 3a, über das der Brennstoff an einer Austrittsdüse 3b in den Eduktgemischaufbereitungsräum 2 mit breitem, kegelförmigen Strahl eingespritzt und dadurch fein zerstäubt wird.

Über einen seitlichen Zuströmkanal 7 der Zufuhrdüse 3 wird ein vorgenmischter Luft-/Wasserstrom 8 in den Gemischaufbereitungsräum 2 eingespeist. Dabei wird das Wasser vor dem Zuströmkanaleintritt 7a der Zufuhrdüse 3 in den zugeführten Luftstrom, wie oben erläutert, dampfförmig oder zerstäubt zugegeben. Der Zuströmkanal 7 geht austroßseitig in Drallströmungskanal 9 über, die in einem anschließenden Teil der Innenseite des den Gemischbildungsraum 2 definierenden Gehäuseteils 6 vorgesehen sind. Wie insbesondere aus Fig. 3 ersichtlich, sind acht derartige Drallströmungskanäle 9 um den Umfang der Eintrittsseite des Gemischbildungsraums 2 verteilt mit einem außermitigten Verlauf angeordnet. Die außermitigen Drallströmungskanäle 9 bewirken eine aus der Mitte versetzte Strömungsführung für den zugeführten, das beigemischte dampfförmige bzw. zerstäubte Wasser enthaltenden Luftstrom mit hoher Drallwirkung. Dies bewirkt eine starke Verreibung der mit mittigem Einspritzkegel eingesetzten Brennstofftröpfchen durch den Drall-Luftstrom in Eduktgemischaufbereitungsräum 2. Insgesamt wird auf diese Weise eine sehr homogene und fein verteilte Durchmischung der drei Edukte im Gemischaufbereitungsräum 2 erzielt.

Fig. 5 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel hinsichtlich der Eduktzuführmittel, wobei im übrigen für funktionell gleiche Elemente dieselben Bezeichnungen wie im Ausfüh-

rungsbeispiel der Fig. 1 bis 4 verwendet sind. In diesem Beispiel besteht der Eduktgemischaufbereitungsräum aus einem Hauptraum 10 und einer diesem vorgeschalteten Vormischkammer 11. Derartige Vormischkammeranordnungen sind beispielweise von Kraftfahzeug-Dieselmotoren bekannt. Die Eduktgemischaufbereitung erfolgt primär in der Vormischkammer 11, vor der das vorab bereitete Eduktgemisch über einen Verbindungskanal 12 in den Hauptraum 10 eingespeist wird. Der Hauptraum 10 schließt wiederum mit seiner Austrittsseite 10a direkt an die Eintrittsseite 1a des Reaktionsraums 1 an und ist im übrigen so gestaltet, daß er eine starke Verreibung des von der Vormischkammer 11 kommenden, seitlich eintretenden, vorgenmischten Eduktstroms 13 bewirkt, wie durch eine Wirbellinie 14 symbolisiert. Zusätzlich tritt zu einer besonders intensiven Vermischung der drei Edukte der durch die vorgeschaltete Vormischkammer 11 verlängerte Strömungsweg für das Eduktgemisch und eine erhöhte Strömungsgeschwindigkeit des Eduktgemisches bei, die mit einer speziellen Auströmgeometrie der Vormischkammer 11 bewirkt wird und insbesondere eine entsprechende Querschnittsverjüngung beinhaltet.

Während in den oben beschriebenen Ausführungsbeispielen eine zentrale Eduktgemischspeisung durch nur eine Zufuhrdüse vorgesehen ist, zeigt Fig. 6 schematisch ein Ausführungsbeispiel mit flächiger Zudosierung, wobei wiederum für funktional gleich Elemente dieselben Bezeichnungen gewählt sind wie in den oben beschriebenen Ausführungsbeispielen. Im Beispiel von Fig. 6 weist der Eduktgemischaufbereitungsräum 2, der austroßseitig wiederum an die Eintrittsseite des Reaktionsraums 1 angrenzt, eine Eintrittsfläche 2c auf, über die hinweg eine Vielzahl von nebeneinanderliegenden Zufuhrdüsen 15 gleichmäßig verteilt als zweidimensionale Düsenfeld angeordnet ist. Die Zufuhrdüsen 15 sind als Einstoff-Düsen ausgebildet, die jeweils das ihr zugeführte Edukt in den Gemischaufbereitungsräum 2 eindünnen. Dazu ist einem ersten Drittel der Zufuhrdüsen 15 das einzuspeisende Wasser, einem zweiten Drittel 15b die einzuspeisende Luft und einem dritten Drittel 15c der einzuspeisende Brennstoff zugeführt. Die Verteilung der Zufuhrdüsen 15 auf die drei Edukte ist möglichst gleichmäßig gewählt, so daß längs einer beliebigen Richtung der Eintrittsstelle 2c die Zufuhrdüsen für Wasser, Luft und Brennstoffzyklisch aufeinanderfolgen bzw. eine Düse, die das eine Edukt führt, nur von Düsen umgeben ist, welche die beiden anderen Edukte führen.

Alternativ zu dieser Verwendung von Einstoff-Düsen können die Zufuhrdüsen 15 auch von Zweistoff- oder Dreistoff-Düsen gebildet sein, wobei selbstverständlich auch die Verwendung sowohl von Einstoff-Düsen als auch von Zweistoff-Düsen vorgesehen sein kann. Soweit Dreistoff-Düsen verwendet werden, werden diese alle drei Edukte zugeführt und gemeinsam von der betreffenden Dreistoff-Düse in gut vernischer Form in den Gemischaufbereitungsräum 2 injiziert. Gegebenenfalls verwendet Zweistoff-Düsen werden zwei der drei Edukte zur gemeinsamen Einspeisung in den Gemischaufbereitungsräum 2 zugeführt, während die dritte Edukt allein oder zusammen mit weiteren Anteilen des ersten und/oder des zweiten Eduktes über andere der Zufuhrdüsen 15 eingedüst wird. Es versteht sich, daß im Vergleich zur Verwendung einer zentralen Zufuhrdüse der Massenstrom bei der flächigen Dosieranordnung von Fig. 6 pro Edukt proportional zur Anzahl der von ihm gespeisten Zufuhrdüsen reduziert ist. Als Zufuhrdüsen 15 sind insbesondere Lockblenden, die von hinten segmentiert das jeweilige Edukt durchlassen, oder Mikrodüsen verwendbar, die nicht nur als Einstoffdüsen, sondern auch als Zweistoff- oder Dreistoff-Düsen ausgebildet sein können. Unter der Annahme einer vollständigen Verdampfung bzw. Vermischung

der Edukte genügt bei der flächigen Zudosierung im Vergleich zur zentralen Zudosierung über eine einzelne Zuführdüse mit konzentrischem Spritzkegel bei gegebener, gewünschter spezifischer Brennstofftröpfchenoberfläche ein verringertes Volumen des Gemischsaufbereitungsräums 2, das nur etwa ein Drittel desjenigen bei zentraler Zudosierung betragen braucht. Durch die flächige Zudosierung wird eine homogen durchmischte Tröpfchenströmung generiert, die sich von der flächigen Eintrittsstelle 2 bis zur an den Reaktionsraum 1 angrenzenden Austrittsstelle des Eduktgemischsaufbereitungsräums 2 ausbreitet.

In allen gezeigten und oben beschriebenen Ausführungsbeispielen werden vorzugsweise steuerbare Zuführdüsen verwendet, die z. B. proportional angesteuert werden können oder von denen bei Verwendung einer flächigen Zudosierung über mehrere Zuführdüsen ein Teil der Düsen abgeschaltet werden kann, um eine gewünschte Lastspreizung zu ermöglichen. Für die Zudosiersteuerung der Zuführdüsen kann je nach Anwendungsfall eine kontinuierliche oder diskontinuierliche Zudosierung vorgesehen sein. Die kontinuierliche Zudosierung kann z. B. eine Druckregelung oder eine Proportionalsteuerung zugehöriger, regelbarer Zudosieröffnungen beinhalten. Eine diskontinuierliche Zudosierung lässt sich zur zeitlichen Taktung steuerbarer Zudosieröffnungen mit veränderlicher Taktfrequenz und bei Bedarf mit zusätzlicher Druckregelung realisieren.

Es versteht sich, daß sich als Brennstoff vorliegend nicht nur Benzin, sondern auch andere Kohlenwasserstoffe oder Kohlenwasserstoffderivate eignen, die durch Reformierung und Oxidation in ein wasserstoffreiches Gas umgewandelt werden können, z. B. Methanol. Die erfundengemäß Reaktoranlage läßt sich sehr gut zur Bereitstellung von Wasserstoff für die Brennstoffzellenfahrzeuge verwenden, da sie die spezifischen Bedingungen für eine solche mobile Anwendung gut erfüllt, wie ausreichende Lastspreizung und Dynamik, Temperaturbeständigkeit und lageunabhängige Funktionsfähigkeit. Letzteres erleichtert den Einbau im Kraftfahrzeug mit seinen meist begrenzten Raumverhältnissen.

Mit Hilfe des vorgeschalteten Eduktgemischsaufbereitungsräume wird gewährleistet, daß die umzusetzenden Edukte sehr homogen vermischt in den Reaktionsraum gelangen. Systemwärme kann rückgekoppelt werden, ohne verloren zu gehen. Vorerwärmte Luft und/oder verdampftes Wasser ermöglichen schon im Eduktgemischsaufbereitungsräum eine weitestgehend vollständige Vorverdampfung des eingespritzten Brennstoffs. Da das Eduktgemisch schon homogen in den Reaktionsraum eintritt, kann dort problemlos eine Katalysatorträgerstruktur eingesetzt werden, die nicht mehr wesentlich vermischend wirkt, wie z. B. eine monolithische Kanalstruktur. Es versteht sich, daß sie die erfundengemäß Reaktoranlage nicht nur für mobile, sondern auch für stationäre Systeme überall dort eignet, wo aus einem Kohlenwasserstoff oder Kohlenwasserstoffderivat ein wasserstoffreiches Gas gewonnen werden soll. Je nach Wunsch braucht die Prozeßführung nicht zwingend autotherm sein, sondern kann auch insgesamt endotherm oder exotherm eingestellt werden.

## Patentansprüche

60

1. Reaktoranlage zur katalytischen Umsetzung eines Kohlenwasserstoff- oder Kohlenwasserstoffderivat-Brennstoffs mit Wasser und Sauerstoff, mit
  - einem katalysatorbelegten Reaktionsraum (1) und
  - Eduktzuführmitteln zur Zuführung eines Eduktgemisches mit dem Brennstoff als einem er-

sten Edukt, dem Wasser als einem zweiten Edukt und einem sauerstoffhaltigen Gas als einem dritten Edukt in den Reaktionsraum,  
dadurch gekennzeichnet, daß die Eduktzuführmittel folgende Elemente beinhalten:

- einen austrittsseitig an die Eintrittsseite (1a) des Reaktionsraums (1) angrenzenden Eduktgemischsaufbereitungsräum (2),
- Brennstofffeinspritzmittel, die den Brennstoff in flüssiger Form tröpfchenbildend in den Eduktgemischsaufbereitungsräum einspeisen,
- Gaszuführmittel, die das sauerstoffhaltige Gas unter Verwirbelung der Brennstofftröpfchen in den Eduktgemischsaufbereitungsräum einspeisen, und
- Wasserzuführmittel, die das Wasser in zerstäubter oder verdampfter Form in den Eduktgemischsaufbereitungsräum einspeisen.

2. Reaktoranlage nach Anspruch 1, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die Gaszuführmittel Drillströmungserzeugungsmittel beinhalten.

3. Reaktoranlage nach Anspruch 1 oder 2, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die Gaszuführmittel Mittel zur Vorerwärmung des sauerstoffhaltigen Gases durch Verdichtung und/oder durch Systemwärmertückkopplung beinhalten.

4. Reaktoranlage nach einem der Ansprüche 1 bis 3, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die Wasserzuführmittel das zerstäubte oder verdampfte Wasser dem sauerstoffhaltigen Gasstrom vor Eintritt desselben in den Eduktgemischsaufbereitungsräum zudosieren.

5. Reaktoranlage nach einem der Ansprüche 1 bis 4, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die Wasserzuführmittel so ausgelegt sind, daß sie während Kaltstartphasen der Reaktoranlage das Wasser in zerstäubter Form in den Eduktgemischsaufbereitungsräum einspeisen und im betriebswarmen Zustand der Reaktoranlage das Wasser durch Systemwärmertückkopplung verdampfen und in verdampfter Form in den Eduktgasauflaufbereitungsräum einspeisen.

6. Reaktoranlage nach einem der Ansprüche 1 bis 5, weiter dadurch gekennzeichnet, daß der Eduktgemischsaufbereitungsräum einen Hauptraum (10) und eine diesem vorgeschaltete Vorrätschammer (11) umfaßt, in welche die drei Edukte zudosiert werden.

7. Reaktoranlage nach einem der Ansprüche 1 bis 6, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die Brennstofffeinspritzmittel, die Gaszuführmittel und die Wasserzuführmittel gemeinsam mehrere, an einer Eintrittsstelle (2c) des Eduktgasauflaufbereitungsräums (2) verteilt angeordnete Zuführdüsen (15) beinhalten, von denen jede eines oder mehrere der drei Edukte in den Eduktgasauflaufbereitungsräum zudosiert.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

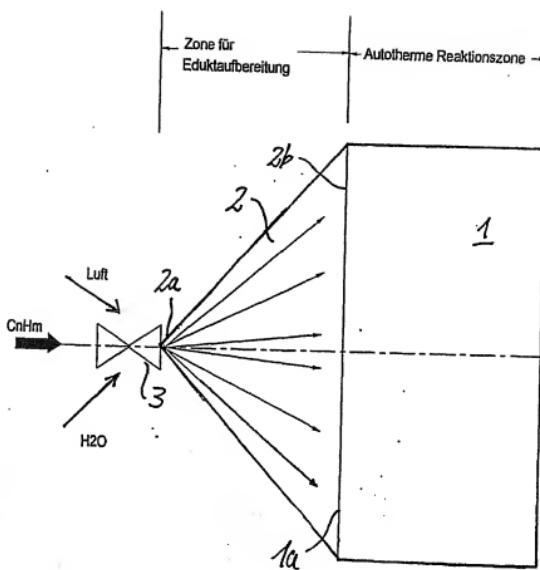
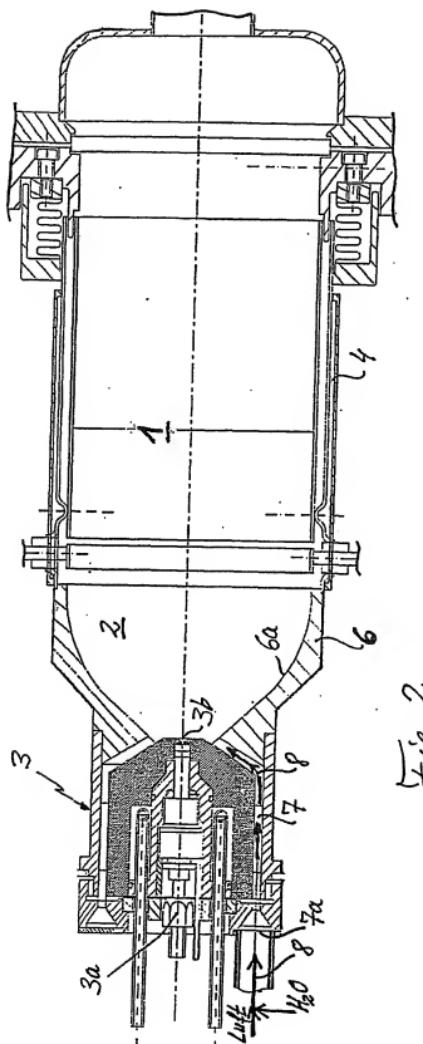


Fig. 1



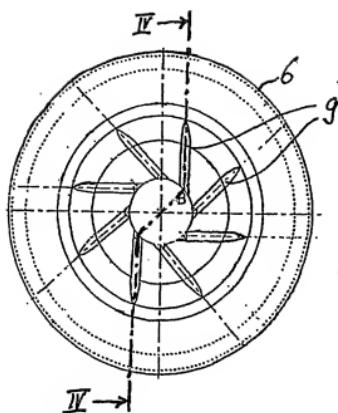


Fig. 3

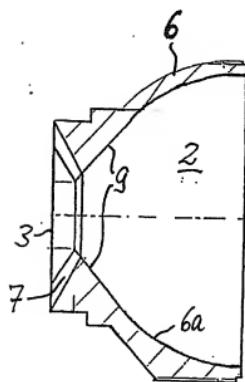


Fig. 4

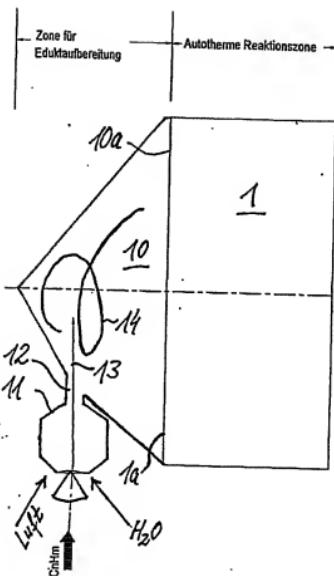


Fig. 5

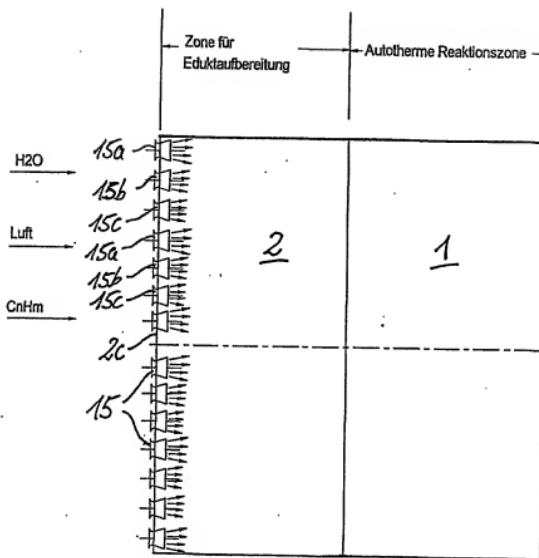


Fig. 6